



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Stavební fakulta

Katedra technologií staveb

Aplikace BIM metodiky do tvorby a údržby železničního tunelu
Application of BIM methodology into design and maintenance of
railway tunnel

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Štrup

Bc. Šimon Doubek

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Doubek Jméno: Šimon Osobní číslo: 396497
Zadávací katedra: Katedra technologií staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Aplikace BIM metodiky do tvorby a údržby železničního tunelu
Název diplomové práce anglicky: Application of BIM methodology into design and maintenance of railway tunnel

Pokyny pro vypracování:

- Praktické použití BIM do tvorby modelu tunelu
- Vytvoření BIM modelu propojky tunelu Ejovice
- Možné využití dat z BIM modelu pro účely provozu a údržby
- Zhodnocení výhod a nevýhod spolupůsobení BIM a Facility Managementu v oblasti tunelů
- Srovnání možných datových výstupů pro různé aplikace sledování provozu a údržby

Seznam doporučené literatury:

White papers:

ISO 29481-1:2016, Building information models -- Information delivery manual

BIM Process, Mieczyslaw (Mitch) Boryslawski, Associate AIA.

Proces BIM, Mieczyslaw (Mitch) Boryslawski, Associate AIA.

Ondrej Strup, Zaklady Facility managementu, Professional Publishing, 2014

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Ondřej Štrup

Datum zadání diplomové práce: 10.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím zdrojů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Ondřeji Štrupovi za odborné vedení, rady a pomoc při psaní této práce.

Dále patří mé díky lidem, kteří mi pomohli, když jsem se na ně obrátil s otázkami ohledně tématu této práce. Mezi ně patří především kolegové Ing. Petr Svoboda, Ing. Martin Krátký, Ing. Filip Jiříčný a Ing. Václav Novotný. Jsem velice vděčný firmě Metrostav a.s., že mi umožnila přístup k podkladům a projektové dokumentaci.

V neposlední řadě děkuji mé rodině a přítelkyni Zuzaně Kánské za podporu během celého studia a za trpělivost, kterou se mnou měly a za zázemí, které mi poskytly.

Anotace

Práce se zabývá představením informačního modelování a managementu se shrnutím jeho vývoje v oblasti tunelování. Dále popisuje proces vytvoření BIM modelu propojky železničního tunelu Ejpovice. Řeší se v ní nastavení parametrů využitelných pro následný provoz a údržbu a dává příklad možného výstupu pro budoucího správce tunelu.

Klíčová slova

Informační model budovy, BIM, železniční tunely, provoz a údržba tunelů

Annotation

The topic of this Master's thesis introduces information modeling and management summarizing its development in tunneling. It also describes the process of creating a BIM model of cross passage located in Ejpvovice railway tunnel. It focuses on setting of parameters that can be used for later operation and maintenance and gives an example of a possible output for future tunnel Facility manager.

Keywords

Building information modelling, BIM, railway tunnels, tunnels operation and maintenance

Obsah

Úvod.....	8
1 BIM – Informační model budovy.....	9
1.1 Obecné rysy.....	9
1.2 Postupná implementace.....	10
1.3 BIM a budoucnost.....	13
2 BIM a tunely	15
2.1 Informační modelování tunelů.....	15
2.2 BIM ve veřejných zakázkách.....	15
2.3 Nepřesný BIM?	18
2.4 BIM a konvenční tunelování	19
2.5 BIM a mechanizované tunelování	21
2.6 BIM pro rekonstrukce	21
2.7 Vývoj BIM v tunelování.....	23
3 BIM pro správu a provoz tunelů.....	24
3.1 Správa a provoz – Facility management.....	24
3.2 BIM a Facility management.....	24
3.3 BIM, FM a tunely.....	26
4 Praktická část.....	28
4.1 Praxe vs. Teorie.....	28
4.2 Základní cíle SŽDC	29
4.3 Samotné modelování	30
4.4 Provoz a údržba.....	38
5 Vyhodnocení	41
6 Závěr	42
7 Seznam použité literatury	44
8 Seznam obrázků	47
9 Seznam zkratk	49



Úvod

V úvodu bych chtěl všechny čtenáře seznámit s problematikou, které jsem věnoval v této diplomové práci. Když jsem se rozhodoval, jaké téma bych si zvolil pro moji diplomovou práci, určitě jsem chtěl volně navázat zaměřením na předchozí závěrečnou bakalářskou práci. V ní jsem se detailně věnoval porovnání přístupu dvou států – České republiky a Austrálie k zavádění metodiky informačního modelování budov do legislativ obou zemí. Rozhodl jsem se pokračovat v pátrání v neprobádaných vodách informačního modelování.

BIM jakožto nástroj pro proces výstavby a komunikaci ve výstavbě se stává standardem v západních a severských zemích. Používá se především pro účely pozemního stavitelství. Nyní se začíná klást i důraz na uplatňování při výstavbě inženýrských staveb, po celé Evropě probíhají pilotní projekty zaměřené na stavbu silnic, železnic i tunelů atd. V České republice se zatím žádný projekt v dopravní infrastruktuře za pomoci BIM metodiky nestavěl. Jelikož se ale očekává, že tato technologie zakoření v našich zákonech, nechtějí investoři zůstat pozadu. V tomto případě státní organizace Správa železniční dopravní cesty (SŽDC) se projevila zájem o implementaci BIM metodiky pro provoz a údržbu čtyřkilometrového železničního tunelu Ejovice v rámci projektu modernizace trati Rokycany – Plzeň, která je součástí transevropské sítě.

Hlavní dodavatel stavby tunelu, Metrostav a.s., ve spolupráci se Sudop Praha a.s. se rozhodly, že společnými silami zhotoví BIM model tunelu. V tomto případě se nejedná o plnou implementaci metodiky, ale o spolupráci pro její postupné zavedení. U stavby takových parametrů a takového typu, u kterého zatím u nás nikdo informační model nedělal, by bylo složité přejít od zažitého způsobu spolupráce rovnou k plné integraci dat a novému typu komunikace.

Tato diplomová práce si klade za cíl vytvořit BIM model propojky číslo sedm tunelu Ejovice a má zjistit, jaká je možnost využití dat modelu pro účely provozu, údržby. Dále zjišťuje, jaké jsou datové výstupy z BIM modelu a jak se dají použít v oblasti tunelů a srovnává jejich použitelnost pro různé aplikace zaměřené na sledování provozu a údržby.



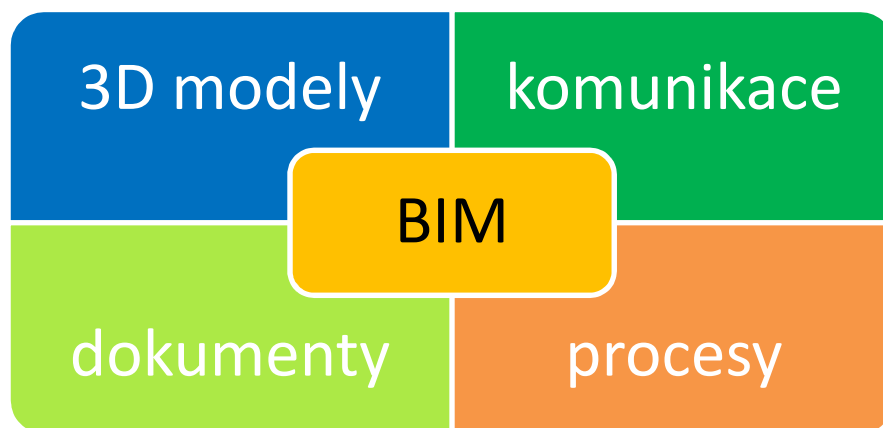
1 BIM – Informační model budovy

1.1 Obecné rysy

Building information modelling nebo management (BIM) neboli informační modelování budovy je proces, ztvárňující budovy, konstrukce, objekty nebo zařízení v digitální podobě s fyzikálními a funkčními vlastnostmi. Základní charakteristikou BIM modelu rozumíme trojrozměrný objekt se součástmi stavby podle dané podrobnosti modelování. Společně s tím je začlenění informace nebo vlastností objektů v modelu za grafickým ztvárněním. Každá část stavby může obsahovat doplňující informace jednotlivých prvků, které mohou mít konstrukční, materiálový nebo užitný charakter, dále pozice v harmonogramu výstavby, harmonogram kontrol a výměn, investiční a provozní náklady, certifikáty atd. Z toho vyplývá, že trojrozměrný model neobsahující informace propojené s objekty nelze klasifikovat jako BIM. Model by měl schopný komunikace s datovými výstupy softwarů ostatních členů projektu. V BIM procesu by všichni účastníci měli aktivně spolupracovat při řešení problémů návrhu, výstavby a budoucí údržby, s použitím jediného zdroje informací. [1]

Úspěch BIM závisí na tom, zda jsou zapojeny všechny strany, tj. investoři, dodavatelé, subdodavatelé, architekti, hasiči, dodavatelé, správci objektů (facility manažeři) a další spolupracují s cílem snížit rizika a eliminovat ztráty jak u sebe, tak i u společníků. [2]

Informační modelování reprezentuje spolupráci, komunikaci a provázanost zapojených profesí a ostatních dotčených stran. Často dochází k mylné myšlence mezi lidmi, kteří nerozlišují BIM a software neboli programy, díky nimž můžeme informační modely realizovat. Tato záměna termínů vede k mystifikaci účastníků projektu i odborné veřejnosti.



Obr. 1 Společné datové prostředí

Na druhou stranu, abychom byli schopni vytvořit přímo konkrétní BIM model, potřebujeme softwarovou základnu, ze které můžeme vycházet. Další programy je třeba pro nahlížení do modelu, editaci, tvorbu časových plánů, přehled financí, spravování a údržbu a další. V případě povinného použití BIM ve veřejných zakázkách, je potřeba zajistit dostupnost BIM nástrojů pro dodavatele.

Přínosy této metodiky jsou především trojrozměrné vizualizace projektů, celkem přesné výkazy výměr, kolize prvků, fázování a organizace na staveništi, odhadovat náklady a v neposlední řadě přínos pro použití v následném Facility managementu. Ale znovu opakuji, BIM není o softwaru, ale o cílené komunikaci mezi zainteresovanými lidmi, sdílených dokumentech a procesech (obr. 1), z čehož plyne zvýšení produktivity.

1.2 Postupná implementace

BIM metodiku si začínají postupně osvojovat nejrůznější profese napříč stavebním průmyslem. Jak to tak bývá, impulz přichází od investorů, případně od projektantů a architektů, kteří se chtějí odlišit od ostatních a nabídnout nějakou přidanou hodnotu, kterou BIM zajisté představuje. Dle mého názoru je nejobtížnějším článkem celého procesu výrobní část, tedy lidé, kteří mají BIM používat přímo na stavbě. Brání se tomu a připadá jim zbytečné trápit se novými postupy.

V dnešní době musíme bohužel rozlišovat použití informačního modelování u nás v České republice a v okolních zemích, převážně na západ – Německo, Anglie, Francie, na sever – Finsko a Švédsko. To neznamená, že by ostatní státy

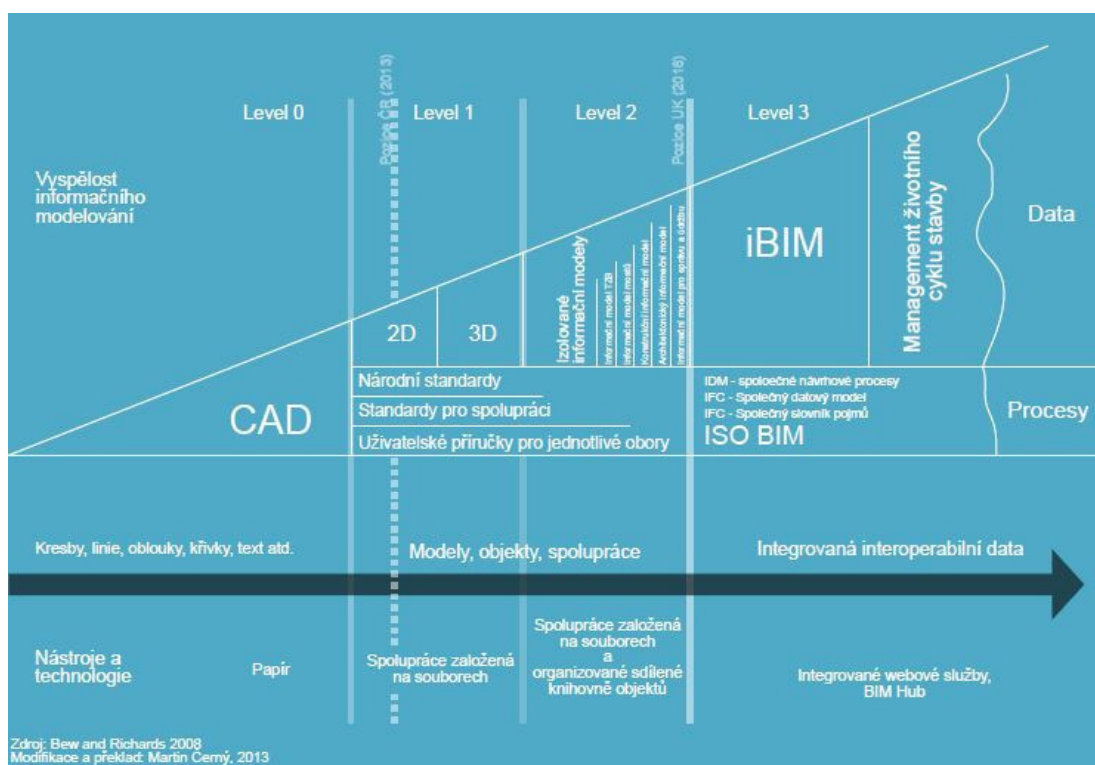


nevyvíjely aktivitu v oblasti BIM, jen je více slyšet a vidět výše zmíněné oblasti. Všechny tyto země jsou součástí Evropské unie, která se snaží o unifikaci směrnic a standardů týkajících se informačního modelování budov jednotlivých států.

V Česku se stále ozývají nedůvěřivé hlasy, zda je BIM tou správnou cestou. Je to dáno tím, že přechod na zcela nový systém nepředstavuje zase až takovou překážku ve finančních výdajích jako ve změně způsobu myšlení. Největší hnací silou zavedení jsou lidé, kteří chtějí zlepšit spolupráci a zvýšit produktivitu, ale paradoxně tento nový způsob uvažování a spolupráce má největší úskalí v nás li-dech.

Proces implementace informačního modelování budov u nás stále v plenkách. Je to obtížné provádět formou plného zavedení hned od začátku, jelikož naše společnost není na takovou velkou změnu připravená. Nepřipravenost ne-souvisí jen se členy stavebního průmyslu, ale také se zaměstnanci státní sféry. Ideální proces implementace je znázorněn na diagramu vývoje (obr. 2).

Nejde-li to tímto způsobem, je nutné jít metodou postupných kroků. Začít přecházet od dvojrozměrných projektových dokumentací k trojrozměrným mode-lům, následně i s přidáváním parametrů pro jednotlivé prvky modelu. Souběžně s tím je třeba začít pracovat na spolupráci profesí a zavádět standardy, které tuto kolaboraci pomocí daných pravidel zproduktivní. Kromě stavebního průmyslu na těchto normách staví i Evropská unie, díky které nám tyto standardy přechází do naší legislativy. Týká se to například unifikace počítačových formátů pro jedno-dušší komunikaci, kterou zajišťuje otevřený formát IFC (industry foundation clas-ses). Zaručuje i to, aby byly soubory kompatibilní mezi různými BIM nástroji a je čitelný strojově a zároveň srozumitelný pro lidi.



Obr. 2 Diagram vývoje BIM

Jakmile si jednotlivé profese osvojí princip informačního modelování, přijde na řadu spojování těchto izolovaných informačních modelů do jednoho společného BIM modelu. Troufám si říct, že dosažení tohoto bodu si dokáže představit velká část zainteresovaných lidí. Další postup spočívá v přemístění jednoho společného BIM modelu z lokálních serverů na vzdálený server (cloud), na který by všichni přistupovali pomocí webového rozhraní. Tohoto bodu se bojí lidé nejvíce z důvodu přetechnizování systému. Nedůvěřují skutečnosti, že by neměli model pod kontrolou. Podobný byl ale i přechod z používání papíru na užívání počítače, kdy se lidé obávali, že by jim data nenávratně zmizela. A právě digitální zpracování by nejen ušetřilo životní prostředí, a tím i méně zatížilo náš finanční rozpočet, ale i zrychlilo komunikaci. K tomu je však třeba, aby vstříc vyšel stát, který by jednak určil formu komunikace a zároveň dbal na proškolení státních zaměstnanců. To by pak mohlo vést k tomu, že už bychom nepotřebovali tisknout všechny dokumenty pro stavební úřad, ale jen bychom tam přišli s USB diskem, ideálně jen poslali odkaz na vzdálený server s BIM modelem. Při úplné BIM integraci by mělo docházet během celé životnosti budovy ke sdílení interoperabilních dat od fází návrhů či studií, projekce, realizace přes stadium provozu až po demolici objektu.



BIM je také účinným prostředkem pro automatizaci a prefabrikaci ve stavebnictví. Může pro ni být vzorem obdobný pokrok technologií jako ve spřáteleném oboru strojírenství a s ním spojená čtvrtá průmyslová revoluce 4.0. Netýká se jen například automatického generování výkazů, počítání nákladů na výstavbu, tvorbu projektové dokumentace, ale může v budoucnu zahrnovat i budování pomocí robotů, a tím zvýšit bezpečnost a ochranu zdraví při práci.

Časový plán implementace BIM v České republice byl již zveřejněn ministerstvem průmyslu a obchodu, které je garantem zavedení. Počítá se s tím, že od roku 2022 bude zavedena povinnost použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky. [3]

1.3 BIM a budoucnost

V předchozí kapitole již zmíněná automatizace výstavby, v jejíž fázi bychom byli schopni využít sílu robotizace, je pro celé lidstvo zatím asi nejvíce vytyčeným cílem. BIM metodika nachází určité své místo v konceptu Smart City, neboli inteligentního města, který se snaží přenášet všechny své výhody do udržitelného rozvoje měst za použití moderních technologií. Ve městech žije čím dál více lidí, některé zdroje mluví dokonce o polovině obyvatelstva. Udržitelný rozvoj nalézá uplatnění hlavně ve využití energie a také v dopravě, kam samozřejmě projekty tunelů spadají. S rostoucím trendem v dopravě budou za pár desetiletí ulice měst přeplněny auty, pokud nevymyslíme nějaký vhodný způsob, jak se v něm pohybovat. Tím by se mohly stát maloprůměrové tunely, jeden z mnoha pokrokových nápadů Elona Muska, amerického vizionáře s majetkem v řádech miliard dolarů. [4]

Jeho vize navržených tunelů malého průměru vyražených tak akorát pro velikost jednoho auta se začínají pomalu stávat skutečností. Tento rok zažádal o povolení ražby prvního úseku z navržené sítě cest pod městem Las Angeles (obr 2).



Obr. 3 Navržená síť tunelů pod Las Angeles

Elon Musk chce zefektivnit ražbu právě zautomatizováním provozu a zrychlením tunelovacího stroje. Využívá automatizovaného pohybu vozidel pro menší rozměry tunelu. Lidé a vozidla by měli cestovat rychlostí 200-240 kilometrů v hodině v běžném ovzduší na samostatném elektrickém nosiči a až přes 960 kilometrů v hodině v samostatných vozítkách s tlakovou komorou. [5]

Pokud by se schylovalo k výstavbě takovýchto tunelů pro rychlou dopravu, bylo by s podivem, kdyby vizionář, jakým je Elon Musk, nepoužil tu nejmodernější technologii, kterou v tuto chvíli BIM jednoznačně je.



2 BIM a tunely

2.1 Informační modelování tunelů

Možnosti využití informačního modelování se rozrůstají a dostávají se i do sektoru inženýrských staveb. Co se týče jeho použití v oblasti tunelů, je historie relativně krátká oproti aplikaci v pozemních stavbách. O to s větší vehemencí se teď inženýrské stavby snaží dohnat časovou ztrátu, kterou nabraly přihlížením. Ve spoustě rozvinutých států probíhají pilotní projekty tunelů, silnic, mostů a dalších objektů uplatňující tyto nové postupy a metody. Zavádění BIM metodiky v tunelovém stavitelství je aktuálním tématem v Evropě i v zahraničních státech. V Německu to je tunel Rastatt [6], ve Velké Británii často skloňovaný komplex podzemní dráhy Crossrail pod Londýnem [7] nebo silniční tunel Silvertown [8], v severní Itálii silniční tunel Paniga [9], druhý tubus silničního tunelu Karavanke spojující Rakousko a Slovinsko [10]. Samostatnou kapitolou jsou kromě Islandu země Skandinávie, kde je informační modelování na velmi vysoké úrovni. Ve Švédsku železniční tunel Hallandsås [11], v Norsku zatím navržený nejdelší 27 km dlouhý podmořský silniční tunel Rogfast [12]. Mimo Evropu je to především ve Spojených státech amerických, spoustu projektů se rozjíždí v Číně a asijskou BIM velmocí je také Singapur nebo Hong Kong.

BIM technologie v inženýrských stavbách je zatím více využívána v návrhové a projekční fázi než během vlastní realizace nebo provozu. Jejich hlavním přispěvkem přitom jsou omezení objemu víceprací vzniklé případnými problémy, které obvykle vyplývají z nedokonalé projektové dokumentace, respektive ze špatné představivosti stavitele.

Opět je třeba ale rozlišovat skutečný BIM od trojrozměrného modelu tunelu s případnými přidávanými parametry.

2.2 BIM ve veřejných zakázkách

Kapitola BIM a veřejné zakázky by mohla být námětem pro celou knihu. Přitom se aplikace metodiky BIM přímo nabízí. Napomáhá tomu povaha těchto



inženýrských staveb, z podstaty se jedná o projekty ze sektoru veřejných zakázek. U nás stát nepožadoval a nečiní tak dosud, použití metodiky informačního modelování u veřejných zakázek. A nepožaduje-li to investor, blíží se šance na zavedení BIM závratně k nule. U soukromých staveb, převážně pozemních, na zavedení tlačil stavební průmysl zastoupený soukromými investory a developery. Aby bylo možné přijmout výzvu a započít BIM proces, je potřeba dostatek odvahy všech stakeholderů, tj. na straně stavitele, stavebníka i projektanta. Vyplývá to z toho, že veřejné zakázky se zadávají s cílem, že vyhraje ten, kdo nabídne nejnižší cenu. V neprospěch pro BIM hovoří počáteční investice, které jasně převažují v porovnání s klasickým modelem projektování a realizace. V té se dá leccos schovat, co se může ukázat během výstavby jako překvapující. V tom je BIM přísnější a méně odpouští chyby a snaží se eliminovat vícepráce, čímž tak trochu lehce bere prostor pro claiming – dožadování se dodatečných nároků (nejčastěji navýšení ceny díla a prodloužení doby výstavby).

Návrh tunelu a související kroky jsou složitým procesem závislým na finančních prostředcích za předpokladu dosažené ekonomické efektivity. Díky informačním modelům stavby můžeme snadněji sledovat a porovnávat jednotlivé návrhy, čímž toho můžeme snadněji docílit. Pro to, abychom mohli dělat modely pro jednotlivé stupně projektové dokumentace, je potřeba je postupně konkretizovat a promýšlet do větších detailů. V současných projektech postrádám spolupráci, která by odpovídala dle principů Building information managementu zapojení účastníků a sdílení informací během celého cyklu stavby. Jednotlivé zúčastněné strany nerady sdílí podrobnosti o projektu a předávají jen to, co musí. Z toho plyne neinformovanost, ta dále může vést k opakovanému vracení se k otázkám, které již v minulosti někdo vyřešil, jen o tom nevíme. Získávání informací a řešení problémů nás pak stojí větší úsilí, které představují čas a peníze.

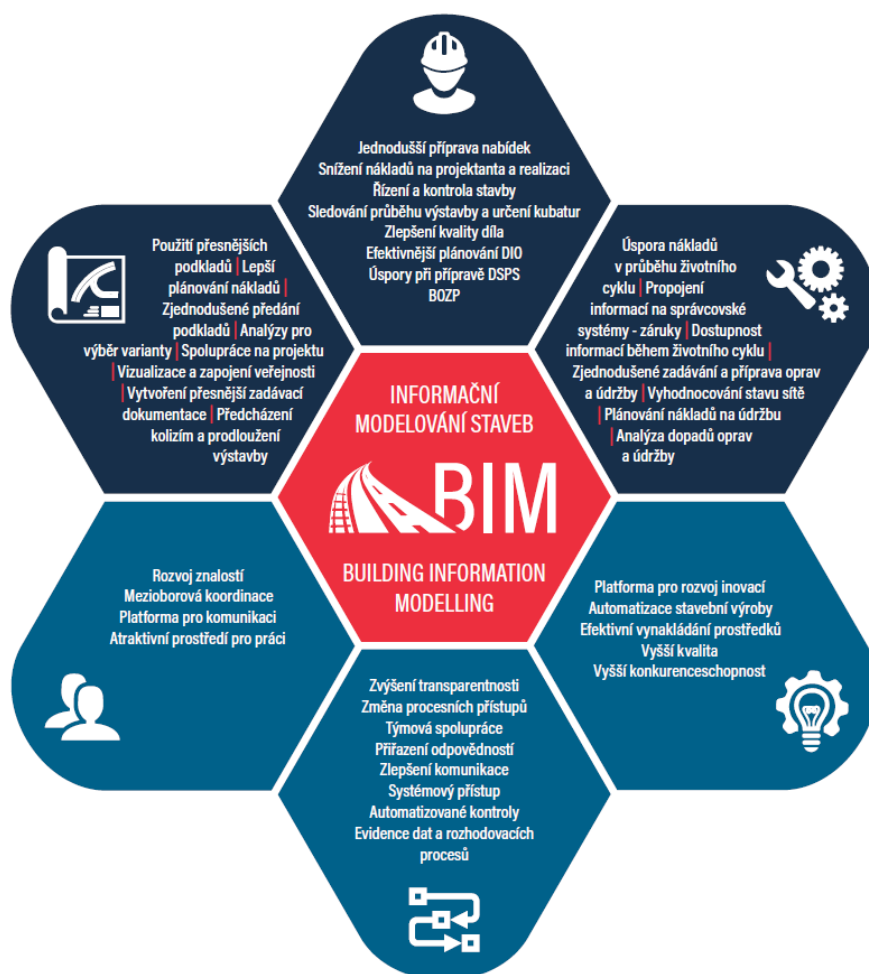
Je to dáno i způsobem zadávání veřejných zakázek, která rozlišuje fáze návrhu, realizace a provozu. Metoda navrhni a postav (Design and Build) dle žluté knihy Fidic odpovídá mnohem více BIM zásadám, kdy zhotovitel podzemní stavby musí projít výběrovým řízením a zajistit si vše potřebné k tomu, aby byl schopný tunel vyprojektovat (vymodelovat) a zároveň i postavit. Tím nese odpovědnost jak



za návrh, tak i za stavbu. Tím ho to nutí o věci přemýšlet uceleněji. Tato praktika se pomalu dostává do výstavby infrastruktury v Česku.

Ještě lepší a vhodnější metodou je postup navrhni, postav a provozuj (Design, Build and Operate) podle zlaté knihy Fidic, který přidává ještě jednu fázi k předešlým dvěma. Tento postup se asi nejvíce přibližuje k ideálnímu způsobu, jak přistupovat k metodice BIM, jelikož zahrnuje v podstatě celý životní cyklus stavby.

Myslím si aplikace této metodiky v infrastruktuře je nevyhnutelná. BIM není nový, ale je to rostoucí celosvětový trend. Zprávy předpovídají, že jeho širší přijetí odblokuje úspory pro trh globální infrastruktury o 15-25 % do roku 2025 [13]. V Česku se o zavedení informačního modelování staveb v dopravní infrastruktuře a dostání jeho výhod (obr. 4) do povědomí snaží Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI), který má na starosti mimo jiné financování výstavby dopravních cest. Podobný cíl má i Asociace pro rozvoj infrastruktury (ARI). [14]



Obr. 4 Přehled výhod použití BIM v dopravní infrastruktuře



Ve spoustě států je povinné podávat nabídky na projekty budov v rámci veřejných zakázek pomocí BIM modelů. Platí to například od určité částky ve Velké Británii, Norsku, Dánsku, Finsku, Holandsku, mimo Evropu v Hong Kongu, Jižní Koreji a dalších. Částečně se to přenáší i do inženýrských staveb. Jasný plán pro přijetí BIM si daly Německo, Španělsko nebo Švédsko. [15] [16]

BIM by měl zprůhlednit celý proces a nastolit lepší spolupráci. Ukazuje se jako vhodný nástroj pro porovnávání jednotlivých nabídek v rámci tendrů, díky kterému by se daly lépe kontrolovat výkazy výměr, časové plány nebo náklady v čase.

2.3 Nepřesný BIM?

Jedním z nejdůležitějších požadavků na BIM modely je, aby model fungoval po celou životnost stavby, to zahrnuje i předrealizační fázi. V tomto období dochází k projektování, výpočtům konstrukcí a jejich nacenění. Z toho logicky vyplývá, že ještě před započítáním výstavby by měl být znám celkem přesný výkaz potřebných materiálů, což BIM model relativně spolehlivě poskytuje.

Problém nastává samozřejmě ve chvíli, kdy nevíme, jestli předpokládané objemy materiálů budou skutečně použity během stavby. To se u pozemních staveb normálně nestává, ale u tunelových a podzemních konstrukcí je to běžné. Ne úplně to platí pro tunely ražené mechanizovaně, tato metoda bude popsána dále. I když ve velkém předstihu ještě před vyprojektováním konstrukce dochází ke geologickým průzkumům podél navrhované trasy podzemní konstrukce, které by nám měly dát dostatečný objem informací pro návrh konstrukce, to ale neznamená, že tomu tak skutečně bude. Celkově vzato, geologie je nevyzpytatelná, pod povrch nikdy nemůžeme vidět dokonale. Můžou zde existovat nejrůznější tektonické zlomy a poruchy. Navíc máme v České republice velmi pestré geologii. Do toho všeho se může přimíchat i voda, která dokáže způsobit hodně nepříjemností. Vše se odvíjí od toho, jaké geologické poměry budou zastiženy během realizace stavby. [10] Tak to ale bylo během klasického, řekněme současného, způsobu návrhu a výstavby a bude to tak i u BIM metodiky. Pokud budeme chtít aktuální model, budeme ho muset během výstavby aktualizovat.



Dalším rozhodnutím, před kterým investor a zhotovitel stojí, je volba technologie provedení stavby. Na světě existuje velké množství metod výstavby tunelů, z nichž některé se již běžně nepoužívají. Výčet těch nejznámějších používaných konvenčních zahrnuje například: Novou rakouskou tunelovací metodu, prstencovou metodu, Norskou tunelovací metodu (známou též jako drill and blast neboli navrtej a odstřel), ADECO RS (analýza řízených deformací v horninách a zemínách), metoda obvodového vrubu, Spritzbetonbauweise, Kernbauweise (obě předešlé pochází ze Švýcarska), Sprayed Concrete Lining, Lasershell (obě z Velké Británie), metoda čelního odtěžování (jinak také ražba pod zastropením, častěji známé jako metoda želva). [17]

Dalším modernějším postupem, jak můžeme provádět výstavbu tunelů, je mechanizované tunelování. Hlavním přínosem je zvýšení bezpečnosti pracovních procesů v podzemí. Tunelovací stroje se dále dělí na razící stroje do pevných skalních hornin a štíty do hornin s nízkou pevností nebo zemin. [18]

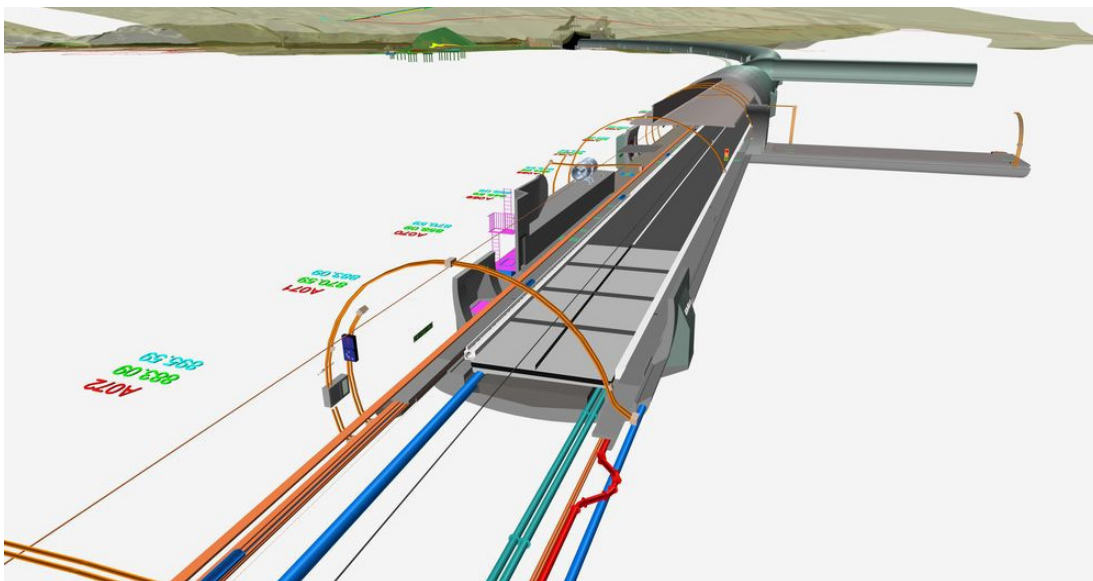
2.4 BIM a konvenční tunelování

V České republice a v Evropě vůbec je nejběžnějším způsobem výstavby tunelů nová rakouská tunelovací metoda. Ta počítá s horninovým masivem jako se součástí nosné konstrukce, která je schopná přenášet část zatížení od svého působení. Dále vychází z předpokladu geotechnického pozorování okolí tunelu, na jehož základě dochází k pozměňování nebo upravování postupu ražeb a vystrojení tunelu. Geologický průzkum je samozřejmě důležitý u všech podzemních staveb. Tunely se nachází v podzemí, úzce spjaté s geologií, která ho obklopuje. Během ražby nebo hloubení může dojít k nečekaným nálezům jiných geologických podmínek než očekávaných a na to je třeba operativně reagovat případným pozměněním skladby konstrukce nebo změnou technologie. Tím pádem předem vyprojektovaný a vytvořený BIM model není úplně aktuální.

Pro samotné modelování BIM modelů tunelu z toho vyplývá, že celá konstrukce může být předem vyprojektována a vymodelována idealizovaně na základě očekávaných geologických podmínek daných předběžnými průzkumy jako v případě tunelu Karavanke (obr. 5). Dokončit model lze v tom okamžiku, kdy



víme, jaké stavební prvky byly skutečně použity během ražby a výstavby. V případě konvenčně ražených tunelů to představuje například počet použitých svorníků, množství stříkaného betonu atd. To lze zaručit už během postupu prací a modelovat součásti za chodu. Druhá možnost je dotvořit model po dokončení ražících a stavebních prací.



Obr. 5 Použití BIM pro projekt silničního tunelu Karavanke

Ještě tedy existuje jedna možnost, a to dodání skutečného provedení do modelu jako textovou nebo obrazovou informací. To nám pak ale model nedokáže generovat správné výkazy objemů a skutečně použitých materiálů, pokud nejsou sepsány dle požadavků na parametry. To pak záleží na tom, jestli k modelu jen přilepíme např. pdf soubor, nebo jestli si dáme práci se zapisováním dat do modelu v struktuře, která bude čitelná nejen strojově, ale i pro člověka, to zajišťuje již zmíněný formát IFC.

Abychom ale mohli srovnávat jednotlivé nabídky od různých uchazečů v rámci veřejných zakázek, potřebujeme znát co nejpřesnější objemy, plochy, kusy a další ukazatele. Takže cesta přidávání informací do modelu nemusí být vždy správná, i když je určitě ekonomicky výhodnější než modelování prvků do modelu.



2.5 BIM a mechanizované tunelování

Jak již bylo zmíněno, tunelování lze provádět kontinuálně mechanizovaným způsobem pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů. Jejich nasazení se začíná ekonomicky vyplácet od určité délky tunelu. Vyražený průřez tunelu a tloušťka ostění zůstávají po celou svou délku nezměněny [19].

Po fázi ražby existují dvě alternativy, jak zhotovit ostění tunelu při mechanizované metodě. První je méně častá a dá se uplatnit v lepších horninách, jedná se o monolitické betonové ostění odlité do formy za tunelovacím strojem. Druhá možnost je použít prefabrikované betonové segmenty tvořící prstence, které jsou montovány pod ochranou štítu stroje. Z toho vyplývá důležitost přesného geologického průzkumu, správného spočítání namáhání a nadimenzování ostění, jelikož segmenty jsou již vyrobeny a dodatečné úpravy v kritických místech by bylo zdlouhavé. Betonové prstence se dají proto vyrábět v různých provedení a mohou se lišit použitou třídou betonu, přidáním drátků nebo ocelové výztuže.

Co se týče tvorby informačních modelů tunelů tvořených mechanizovaným způsobem, je samotné modelování o něco snadnější, protože tunel je geometricky jednodušší. Když naskládáme prstence za sebe, stačí pak měnit parametry prstenců podle toho, z čeho a jak jsou vyrobeny. U modelování tunelu raženým konvenční metodou musíme zohledňovat více technologické třídy výrubu a podle toho upravovat, zda je průřez tunelu se spodní klenbou či bez, počet svorníků, tloušťku ostění atd.

2.6 BIM pro rekonstrukce

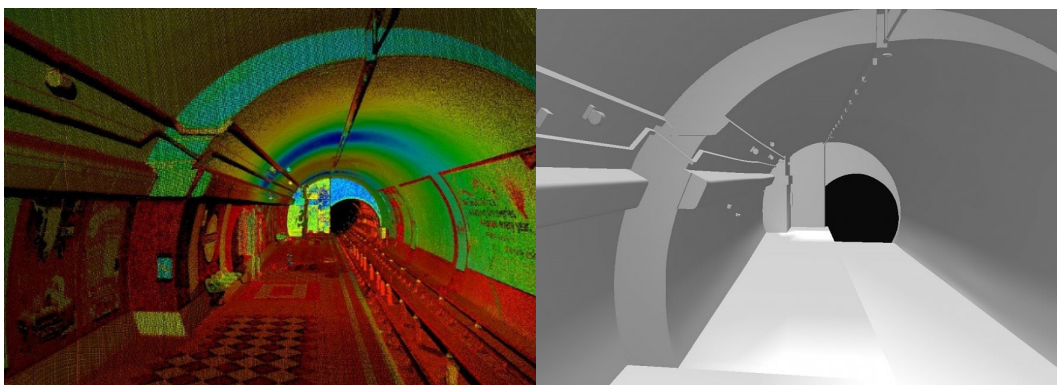
Jedním z mnoha druhů využití informačního modelování tunelů je i v rámci rekonstrukcí nebo přestavby tunelů. Začátek bouřlivé výstavby železnic nastal v 19. století. Potřeby zkracování tras a urychlení cestování nastolily neutuchající trend budování především železničních tunelů díky lepším a modernějším technologiím. Tyto nejstarší tunely byly budované pomocí hrubé lidské síly se zajišťováním výrubu pomocí výdřevy s následným kamenným ostěním. Po desítkách let působení přírodních vlivů (zejména vody) na konstrukci tunelu dochází k degradaci materiálů a hrozí narušení statiky tunelu. Jestliže se stav tunelu zhorší natolik,



že to brání v dalším požadovaném provozu, je jeho provozovatel donucen k rekonstrukci. Ta může sestávat ze sanování a opravování tunelu nebo může zahrnovat i přestavbu.

V tomto bodě nastává vhodný okamžik pro vstup BIM, protože stejně je nutné zhotovit podklady pro chystané akce. Když už se tvoří projektová dokumentace, tak je vhodné ji dělat v BIM prostředí, protože jeho výstupy můžeme použít i následném provozu tunelu pro vedení údajů o veškerých změnách, ke kterým v tunelu došlo.

Existují dvě možnosti, jak lze modelu tunelu dosáhnout. Jedna varianta je vytvořit ho standardním modelovacím způsobem pomocí některého z BIM nástrojů. Pro to musíme ale mít dostatek dat z měření rozměrů nebo z dokumentace, abychom byli schopni zajistit model, který bude rozměrově odpovídat tunelu dle skutečnosti. To nás vyjde na spoustu času, jelikož modelování je zdoluhavé. Druhá možnost je si práci trochu usnadnit a použít laserové skenování. Tím ušetříme spoustu času i financí, protože prakticky ihned dostaneme přesný povrch vnitřku tunelu, který následně vložíme do BIM nástroje a převedeme na informační model (obr. 6). Skenování se provádí laserem na stativu, případně rychlejší možnost je poslat skener na podvozku rovnou po kolejích. Samozřejmě tuto technologii lze aplikovat i na jiné tunely než železniční. Tato zajímavá metoda dokazuje, jak se stavbaři naučili využívat mračen bodů pro použití v BIM.



Obr. 6 BIM model vytvořený pomocí laserového skenování



2.7 Vývoj BIM v tunelování

Z výše uvedených důvodů lze vidět, že i BIM a informační management jsou potřeba v infrastrukturálních projektech. Jejich implementace se pomalu uskutečňuje. Existuje počáteční chuť, vůle i představy, které je potřeba přetavit do pravidel pro spolupráci. Částečně jsou zahrnuty ve standardech o IFC, které tuto multidisciplinární kolaboraci umožňují, avšak postrádají zmínky o inženýrských stavbách. Pro to, aby BIM vyhovoval infrastruktuře a naopak, vznikla v Mezinárodní tunelářské asociaci ITA-AITES pracovní skupina se zaměřením na informační modelování tunelů neboli TIM (tunnel information modelling) s úkolem prosadit rámcovou i bližší spolupráci v rámci informačního managementu. [20]

BIM je dlouhodobý proces, který vyžaduje připravenost technologií, ale především zúčastněných lidí. S inovacemi přicházejí i výrobci nástrojů BIM, kteří se začínají více zaměřovat na jednotlivé pracovní obory tak, aby byly jednotlivé nástroje uživatelsky přístupnější. S napjatostí můžeme teď pozorovat, jak se bude vyvíjet projekt tunelu Rastatt v sousedním Německu, na které se české stavebnictví hodně upíná a doufám, že z výsledků se budeme mít šanci poučit i my.



3 BIM pro správu a provoz tunelů

3.1 Správa a provoz – Facility management

Po dokončení výstavby tunelu přichází fáze jeho provozu, během níž ho jeho provozovatel udržuje v chodu a spravuje ho. V západních zemích se tento proces nazývá Facility management.

Stejně jako BIM je i Facility management multioborový proces. Je to systém řízení, který si klade za cíl oprostit všechny podpůrné činnosti od hlavního předmětu podnikání tak, aby se cílová organizace mohla soustředit právě na hlavní činnost (core business) a zajistit tak ekonomicky efektivní provoz. Facility management je v České republice velice slibně se rozvíjející obor.

Zhruba 80 % veškerých nákladů během celého životního cyklu stavby vzniká ve fázi jejího provozování. To představuje obrovské finanční sumy, když si uvědomíme, že celá životnost budovy může být klidně sto let. Jsou to výdaje na provoz, údržbu i opravy a pokud je dokážeme efektivně řídit, můžeme výrazně snížit náklady provozovatele stavby. [21]

3.2 BIM a Facility management

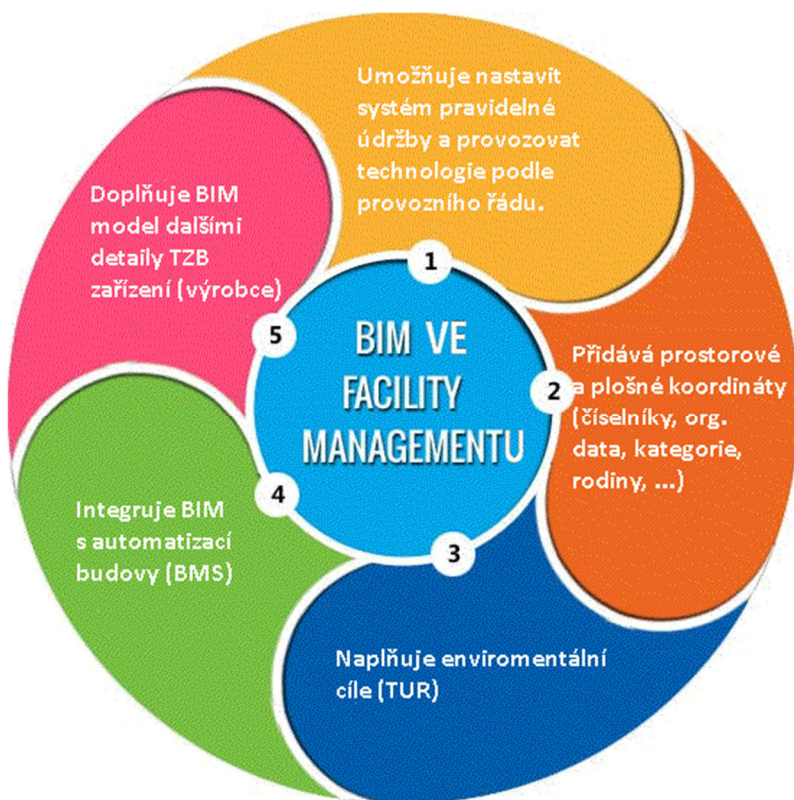
Působení Facility managementu se dělí na dvě základní oblasti zabývající se: 1) potřebami lidí a organizací; 2) správou prostor a infrastruktury. Jeho základními kameny jsou tzv. měkké služby, které spadají do druhé skupiny a objemově převažují nad skupinou druhou a tvoří podstatu Facility managementu.

Spojení BIM a FM by mělo být úplnou samozřejmostí podle koncepce, kterou BIM metodika představuje. Tím je myšleno použití modelu po celou dobu životnosti stavby. Díky informačnímu modelu dokáže Facility management efektivněji řídit a kontrolovat správu energií, revize a inspekce, úklid, plánovat pravidelné údržby, zajistit náhlé údržby, využívat prostory stavby. [22]

Jak už jsem zmínil v předešlých kapitolách, BIM je součástí návrhu budovy, realizace i provozu a stejně tak by to mělo být i u Facility managementu, konkrétně



Facility managera, který by měl být už u raných návrhů stavby, aby mohl ovlivnit a zajistit efektivní výsledek projektu. Ve fázi demolice to může být zase likvidace v duchu udržitelného rozvoje, aby vzniklo co nejméně odpadu a aby se co nejvíce zařízení dále použilo nebo zrecyklovalo.



Obr. 7 BIM ve Facility managementu

Použití FM bývá v BIM označováno jako jeho šestá negeometrická dimenze. Přidaná hodnota 6D BIM spočívá v schopnosti využít informací z BIM modelu o prostoru a pomáhá tak uživatelům za pomoci FM nástrojů lépe pochopit procesy a pracovat s konkrétní stavbou (obr. 7). Spojení s dodatečnou šestou dimenzí je posíleno zajištěním kvality. Důležité je, že si z modelu můžeme brát nej-různější údaje z průběhu celé výstavby a všechny informace, výkresy, postupy atd. jsou uloženy a aktualizovány pouze na jednom úložišti, takže všichni, kdo mají přístup k systému, vždy najdou správnou a aktuální verzi hledané položky. Zabráníme tím duplikování souborů.



Zároveň musíme zajistit, aby byl model neustále zdrojem účelných a kvalitních informací a aby nedošlo k přehlcení celého systému informačního managementu nekontrolovatelným množstvím dat. Během dalších desetiletí bude docházet k ukládání do modelu obrovského objemu informací. Bude třeba najít způsob, jak řídit databáze. Již v dnešní době se vyskytuje pojem big data – veledata – soubor dat, jejichž velikost je mimo schopnosti zachycovat, spravovat a zpracovávat data běžně používanými softwarovými nástroji v rozumném čase. [23]

3.3 BIM, FM a tunely

Tunely jsou stavby, které se navrhují tak, aby jejich konstrukce vydržela odolávat okolnímu prostředí alespoň sto let. Na jeden lidský život je poměrně dlouhá doba. Během jeho životnosti v něm dojde ke spoustě událostí. Mám na mysli ty, které se týkají jeho údržby, řízení jeho provozu a plánování oprav. To zahrnuje data revizí, doklady o zárukách, opravy, výměny součástí, certifikace i přestavby. Tyto události jsou bohatým zdrojem informací pro správce, kteří se budou zabývat stejnými nebo podobnými problémy v budoucnosti. Vzniká tím tak databáze údajů, které je potřeba někde skladovat vhodným způsobem, aby byly snadno dohledatelné a použitelné. BIM prostředí je pro to ideálním nástrojem. Správný model zahrnuje totiž informace, které do něj byly projektantem a zhotovitelem vkládány od fáze návrhu přes realizaci až po uvedení do provozu.

V tunelech běžně moc lidí nepracuje, snad jen v silničních tunelech, kde pokladní vybírají mýtné, ale i to už je dnes značně překonáno za použití automatů. Z toho vyplývá, že zájmové oblasti tunelů spadají do druhé kategorie působnosti – správa prostor a infrastruktury.

Troufám si tvrdit, že právě dlouhověkost tunelů je klíčový faktor pro tvorbu informačního modelu tunelu a jeho použití pro správu po celou dobu jeho životnosti. Otázka je, jak budeme schopni model spravovat v dlouhodobém horizontu. Přece jen se technologie neustále vyvíjí a v tuto chvíli přesně nedokážeme říct, jak budou BIM nástroje vypadat za několik desítek let a zda bude budoucí software



umět pracovat s dnešními modely. Toto je otázka, kterou zatím v tuto chvíli nedokážeme plnohodnotně posoudit a zodpovědět.

Během životnosti tunelu je běžné, že se objeví větší poruchy, nejčastěji to bývá kvůli průsaku vody dovnitř. Taková údržba při započtení ztrát z uzavření tunelu se vyšplhá na vysoké částky. Samozřejmě, že se tomu nedá vždy zabránit, ale dá se tomu alespoň částečně předcházet tím, že věnuje více času a peněz do vhodného systému zabraňujícího přísunu vody do tunelu během návrhu a výstavby. To je úkol projektanta, kterému by měl být budoucí Facility manager nápomocen. [21]



4 Praktická část

4.1 Praxe vs. Teorie

Na základě pospojování veškerých námětů a poznatků z předešlých kapitol vzniklo rámcové téma pro praktickou část této diplomové práce. Rozhodl jsem se prozkoumat doposud tolik neznámé oblasti, tedy alespoň v České republice. Jak již bylo zmíněno v teoretické části – zahraniční projekty orientované na tunely jsou tvořeny pomocí metodiky informačního modelování. U nás zatím nebyl žádný tunel zpracován v BIM prostředí, natož aby byly následně výstupy z modelu použity v provozu tunelu pro správu a údržbu (Facility managementu). V poslední době se výstavba dopravní infrastruktury razantně omezila a dalších projektů, tunelových obzvláště, přibývá poskrovnu. Je to zejména kvůli tomu, že nejsou nové projekty připraveny nebo se jedná o velké projekty s vysokými finančními náklady. Jednou za čas se v odborných kruzích v rámci dopravní infrastruktury objeví téma BIM, udělá menší rozruch a pak zase vyšumí. A když už se vypíše nějaká veřejná nabídka, tak se zpravidla řeší klasickým modelem bez informačního modelování budov.

Přesto se v poslední době vyskytla jedna možnost, kde uplatnit BIM v rámci tunelové stavby a použít model pro správu a údržbu (Facility management). Pilotní projekt na odzkoušení BIM modelu byl zvolen tunel Homolka a tunel Chlum v rámci modernizace trati Rokycany – Plzeň, společně především známé jako tunel Ejpovice. Z pohledu BIM to není tedy úplně ideální, jak by se na první pohled zdálo. Informační model tunelu se začal zhotovovat až po vyražení obou tunelů, což neodpovídá úplné implementaci metodiky, která je založená na využití dat během celé životnosti stavby. Celá ražba a výstavba probíhala s tradiční dvourozměrnou projektovou dokumentací. Investorem byla Správa železniční dopravní cesty (SŽDC), která si model objednala pro využití ve správě dopravní infrastruktury.

K projektu tunelu Ejpovice, jedná se o dvoutubusový železniční tunel. Jižní tunelová trouba měří 4150 m a severní 4158 m. Ražen byl metodou tunelovacího mechanizovaného štítu o průměru 9,80 m. Ostění je tvořeno univerzálními žele-



zobetonovými 2 m dlouhými prstenci o tloušťce 40 cm. Každý se skládá z 8 prefabrikovaných segmentů (7+1 závěrný (klenák)), které jsou zhotoveny z betonu s rozptýlenou výztuží (vláknobeton nebo drátkobeton). Navíc jsou 4 prstence v okolí propojek vyztužené betonářskou výztuží. Vodonepropustnost je zajištěna těsníci páskami ve spárách po obvodu segmentu, jež je aktivována přitlačením sousedních segmentů.

Postup výstavby probíhal následovně, po vyražení jižního tunelu tunelovacím strojem a osazení prstenců se vybetonoval invert. Následně se začala razit druhá trouba a poté začaly ražby jednotlivých propojek s ostěním ze stříkaného betonu a dokončil se druhý invert a postupně další části.

4.2 Základní cíle SŽDC

Ke správě železničních tunelů v Česku pod správou SŽDC (k 1.lednu 2012 jich bylo 158) se vztahuje předpis Českých drah S6 Správa tunelů z roku 2001, vydaný ještě před rozdělením státního podniku České dráhy na České dráhy, a.s. a Správu železniční dopravní cesty. Podle něj se podrobnosti o prohlídkách tunelů vedou v softwarovém programu Evidence tunelů. Ten obsahuje evidenční listy s obecnými informacemi o tunelech a kroniku tunelu s chronologicky zaznamenanými činnostmi týkající se stavby a údržby. Dále pak zahrnuje zápisy o prohlídkách tunelu a soubory projektové dokumentace. Běžné prohlídky probíhají jednou za rok, u tunelů s nevyhovujícím stavem jednou za půl roku. Podrobné prohlídky jsou vykonávány jednou za pět let a kontrolní prohlídky v případě naléhavé potřeby. Z dokumentu vyplývá, že správu tunelového objektu má na starosti jiný orgán než ten, který má starosti železniční svršek.

Ideálním způsobem zadáním stavby by byl model navrhni, postav a provozuj (Design, Build and Operate) z hlediska možnosti využití informací modelu pro správu a údržbu tunelu. Jelikož si ale SŽDC spravuje všechny své tunely vlastními silami, nenabízí se možnost provozování tunelu ze strany zhotovitele. Pro model spolupráce navrhni a postav s dalším možným předáním modelu pro správce objektu (případně Facility managera) je vhodné sepsat výkonný plán BIM Execution



Plan (BEP), který definuje jasné požadavky na formát, strukturu, přesnost a výstupy BIM projektu. Tento dokument byl sepsán a podepsán SŽDC a Metrostavem.

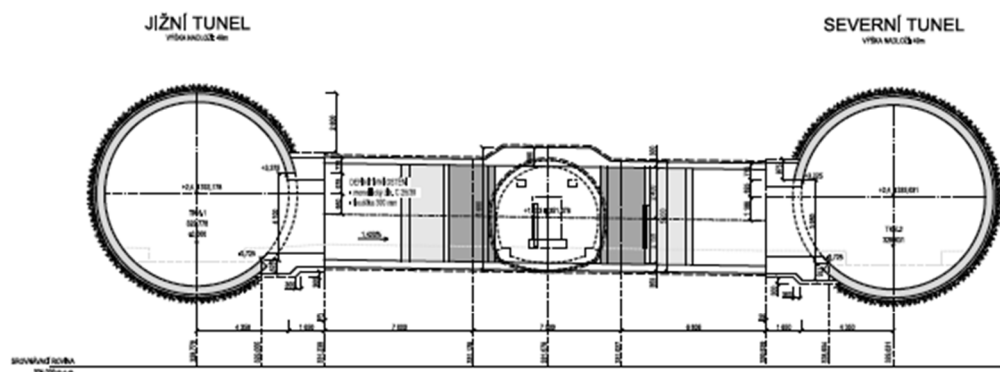
4.3 Samotné modelování

Začátky modelování vlastního tunelu byly pro mne velice složité. Dá se říct, že jsem začínal úplně od nuly. Mé dosavadní zkušenosti v informačním modelování se týkaly svým způsobem jen pozemních staveb, když jsme modelovali rodinný dům v rámci výuky na vysoké škole. Snažil jsem se tedy sehnat co nejvíce informací z různých oborů a dát je dohromady. Ale buď měli lidé znalosti jen z oblasti tunelů nebo BIM v povrchových objektech nebo Facility managementu. Všechny dostupné zmínky a informace se nacházely v zahraničí a na webových stránkách v angličtině. Pro samotné modelování jsem si vybral software Revit od společnosti Autodesk, jelikož jeho prostředí se ukazovalo jako nejvhodnější pro tvorbu BIM modelu podzemního díla. Znal jsem jeho prostředí ze školy. V základní verzi je ale tento software pro tunely nepoužitelný, nemá totiž v oblíbě prostorové křivky, kterým se v tunelech nevyhneme. Pro to, aby byl software schopný plnit mé požadavky, jsem musel doinstalovat doplněk pro Revit, který se jmenuje Dynamo. Bez něj jsem schopný vytvořit model tunelu v přímém úseku, případně i v zatáčce, ale v obou případech bez stoupání nebo klesání. Představuje svým způsobem program v programu. Jeho náplní je vytvářet dynamické modely (odtud jeho název) za pomoci vizuálního programování s otevřeným zdrojovým kódem. Jde vlastně o spojování uzlů s různými algoritmy, aniž bych musel znát nějaký konkrétní programovací jazyk. Poskytnu-li Dynamu množství dat a dokážu je vhodným způsobem zpracovat, vrátí mi informace, z nichž umí vytvořit geometrie, tvary a tělesa. Je to také úžasný nástroj, který dokáže zautomatizovat modelování, čehož jsem využil.

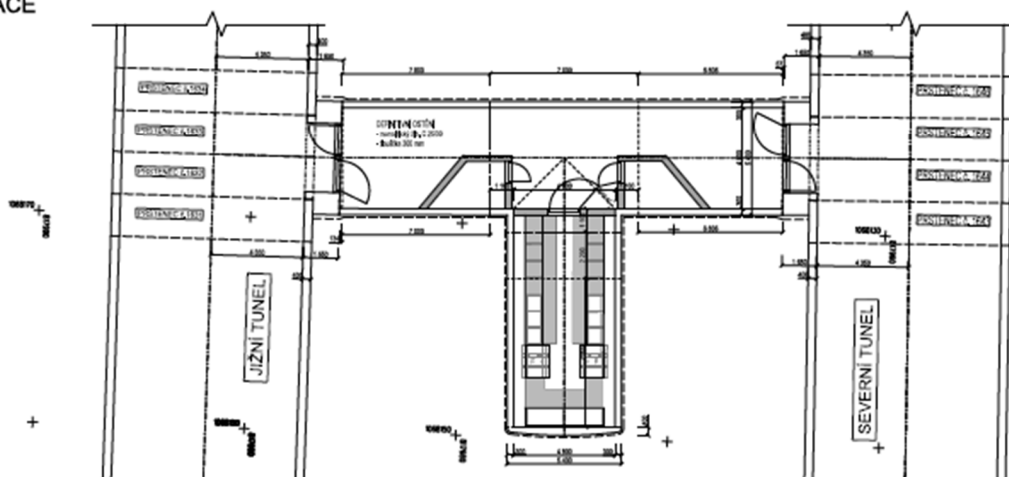
Jako podklady jsem měl dokumentaci pro provedení stavby (obr. 8), kterou jsem v některých místech neshledával dostatečně podrobnou. První jsem potřeboval získat směrové a výškové vedení trasy jednotlivých tunelových trub z geodetického zaměření (obr. 9). Každá z nich sestává z více než 4100 souřadnic, ty jsem pak převedl do tabulky v Excelu (obr. 10).




PODÉLNÝ ŘEZ



SITUACE



Obr. 8 Podélný řez propojkou a situace

Modernizace trati Rokycany - Plzeň část 01 - ražba tunelu TBM									
									
303351	3234.000	99077.709	817939.281	1088128.765	332.470	99065.660	-1785	100.77080	-8.0
303352	3235.000	99078.709	817940.281	1088128.753	332.462	99066.641	-1785	100.73494	-8.0
303353	3236.000	99079.709	817941.280	1088128.742	332.454	99067.622	-1785	100.69927	-8.0
303354	3237.000	99080.708	817942.280	1088128.731	332.446	99068.604	-1785	100.66361	-8.0
303355	3238.000	99081.709	817943.280	1088128.721	332.438	99069.585	-1785	100.62794	-8.0
303356	3239.000	99082.709	817944.280	1088128.711	332.430	99070.567	-1785	100.59228	-8.0
303357	3240.000	99083.709	817945.280	1088128.702	332.422	99071.548	-1785	100.55661	-8.0
303358	3241.000	99084.709	817946.280	1088128.694	332.414	99072.529	-1785	100.52095	-8.0
303359	3242.000	99085.709	817947.280	1088128.686	332.406	99073.511	-1785	100.48528	-8.0
303360	3243.000	99086.709	817948.280	1088128.679	332.398	99074.492	-1785	100.44962	-8.0
303361	3244.000	99087.709	817949.280	1088128.672	332.390	99075.474	-1785	100.41395	-8.0
303362	3245.000	99088.709	817950.280	1088128.666	332.382	99076.455	-1785	100.37829	-8.0
303363	3246.000	99089.709	817951.280	1088128.660	332.374	99077.436	-1785	100.34262	-8.0
303364	3247.000	99090.708	817952.280	1088128.655	332.366	99078.418	-1785	100.30696	-8.0
303365	3248.000	99091.708	817953.280	1088128.650	332.358	99079.399	-1785	100.27129	-8.0
303366	3249.000	99092.708	817954.280	1088128.646	332.350	99080.381	-1785	100.23563	-8.0
303367	3250.000	99093.709	817955.280	1088128.642	332.342	99081.362	-1785	100.20000	-8.0

Obr. 9 Směrové a výškové vedení osy tunelu



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	č.b.	staničení	staničení	Y	X	výška					
2	303374	3257.000	99100.709	817962.280	1068128.635	332.286					
3	303375	3258.000	99101.709	817963.280	1068128.636	332.278					
4	303376	3259.000	99102.709	817964.280	1068128.637	332.270					
5	303377	3260.000	99103.709	817965.280	1068128.640	332.262					
6	303378	3261.000	99104.709	817966.280	1068128.642	332.254					
7	303379	3262.000	99105.709	817967.280	1068128.646	332.246					
8	303380	3263.000	99106.709	817968.280	1068128.649	332.238					
9	303381	3264.000	99107.709	817969.280	1068128.654	332.230					
10	303382	3265.000	99108.709	817970.280	1068128.659	332.222					
11	303383	3266.000	99109.709	817971.280	1068128.664	332.214					
12	303384	3267.000	99110.709	817972.280	1068128.670	332.206					
13	303385	3268.000	99111.709	817973.280	1068128.677	332.198					
14	303386	3269.000	99112.708	817974.280	1068128.684	332.190					
15	303387	3270.000	99113.709	817975.280	1068128.692	332.182					
16	303388	3271.000	99114.709	817976.280	1068128.700	332.174					
17	303389	3272.000	99115.708	817977.280	1068128.709	332.166					
18	303390	3273.000	99116.709	817978.280	1068128.719	332.158					
19	303391	3274.000	99117.708	817979.280	1068128.729	332.150					
20	303392	3275.000	99118.709	817980.280	1068128.739	332.142					
21	303393	3276.000	99119.709	817981.280	1068128.751	332.134					
22	303394	3277.000	99120.709	817982.280	1068128.762	332.126					
23	303395	3278.000	99121.708	817983.279	1068128.775	332.118					
24	303396	3279.000	99122.709	817984.279	1068128.787	332.110					

Obr. 10 Souřadnice převedené do Excelu

Nezávisle na tom jsem začal modelovat rodinu prstence. Rodiny je základním prvkem Revitu, ze kterých pak model tvoříme. Ačkoliv se prstenec skládá z několika segmentů, bylo by zbytečně obtížné, časově náročnější, a hlavně datově objemnější je modelovat do takových detailů. V tomto případě by bylo jednodušší ke každému prstenci připojit PDF soubor s natočením segmentů. Prstenec samotný obsahuje řadu parametrů. Tyto parametry musely být vymyšleny tak, aby vyhovovaly budoucímu správci tunelu, tedy SŽDC. Vyjednávání s ní, do kterých jsem se zapojil, bylo zdlouhavé. Jednalo se, co by měly vlastně být parametry zač. Nakonec jsme našli soubor vhodných kandidátů pro prstenec (obr. 11), železniční spodek (obr. 12) i svršek a trakční vedení (obr. 13).



SKUPINA PARAM.	PARAMETR	TYP PARAMETRU
PRSTENEC		
Základní informace	Kód prvku	Kód
Základní informace	Označení	Číslo
Základní informace	ev.km	Číslo
Základní informace	Stavební celek	Text
Základní informace	Umístění	Text
Rozměry	Délka	Číslo
Rozměry	Tloušťka	Číslo
Rozměry	Vnitřní průměr	Číslo
Rozměry	Vnější průměr	Číslo
Rozměry	Vnitřní plocha	Číslo
Rozměry	Objem	Číslo
Technické informace	Materiál	Text
Technické informace	Třída betonu	Kód
Technické informace	Výztuž	Kód
Technické informace	Hmotnost	Číslo
Technické informace	Požární odolnost	Kód
Technické informace	Kód povrchu	Kód
Ostatní	Výrobce	Text
Ostatní	Počet tybinků	Text
Ostatní	Správce	Text
Ostatní	katastrální uzemí	Text
Ostatní	revize	Datum
Ostatní	stavební stav	Text
Ostatní	životnost prvku	Číslo
Ostatní	rok dokončení	Datum

Obr. 11 Sada parametrů pro prstenec

SKUPINA PARAM.	PARAMETR	TYP PARAMETRU
INVERT		
Základní informace	Kód prvku	Kód
Základní informace	Počet záběrů	Číslo
Rozměry	Objem	Číslo
Technické informace	Materiál	Text
Technické informace	Třída betonu	Text
Technické informace	Požární odolnost	Text
Technické informace	Stupeň vyztužení	Číslo
Technické informace	Výztuž	Text
Technické informace	Hmotnost	Číslo
Technické informace	Krytí výztuže	Číslo
Ostatní		

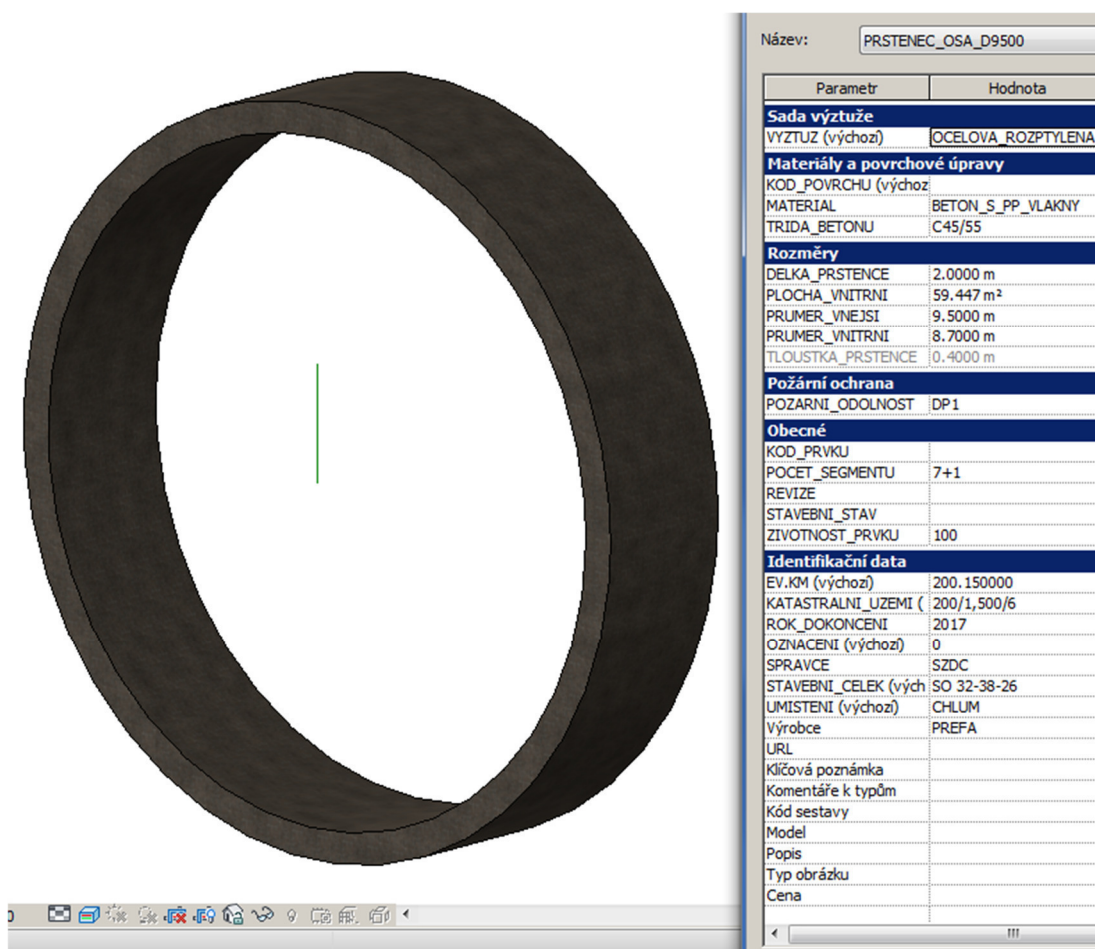
Obr. 12 Sada parametrů pro železniční spodek



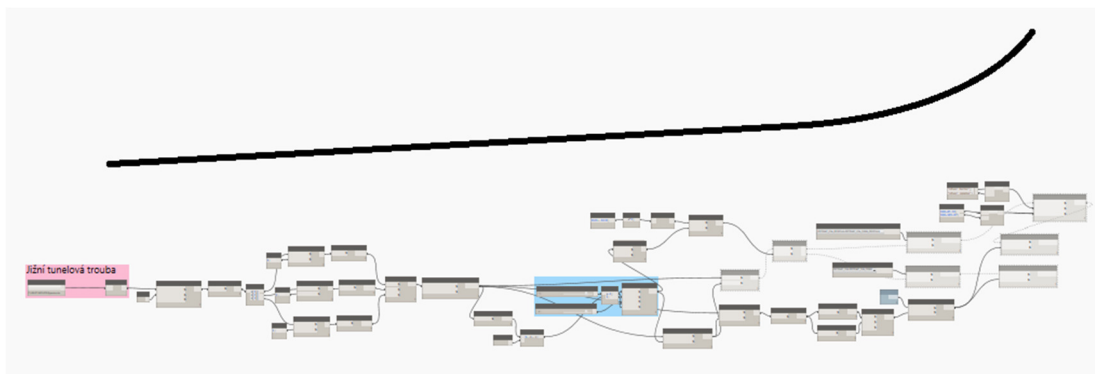
SKUPINA PARAM.	PARAMETR	TYP PARAMETRU
PANEL PJD		
Základní informace	Kód prvku	Kod
Rozměry	Délka	číslo
Rozměry	Šířka	číslo
Rozměry	Výška	číslo
Rozměry	Tloušťka	číslo
Rozměry	Plocha	číslo
Rozměry	Objem	číslo
Rozměry	Tloušťka	číslo
Technické informace	Hmotnost	číslo
Technické informace	Materiál	text
Technické informace	Třída betonu	kod
Technické informace	Předpjatý prvek	ano/ne
Technické informace	Kod povrchu	kod
Ostatní	Ostatní prvky zabudované	
Ostatní	Výrobce	text
KOLEJNICE		
Základní informace	Kód prvku	kod
Rozměry	konstrukční délka	číslo
Technické informace	Hmotnost	číslo
Technické informace	Materiál	text
Technické informace	typ kolejnice	kod
Technické informace	typ upevnění	kod
Ostatní	výrobce	text
Ostatní	revize	datum
Ostatní	odkaz na technický list	
TRAKCE		
Základní informace	Kód prvku	Kod
Základní informace	číslo trakce	Číslo
Technické informace	Proud	číslo
Ostatní	Revize	datum

Obr. 13 Sada parametrů pro železniční svršek a trakční vedení

Po vymodelování rodiny prstence a přidání parametrů (obr. 14) jsem přistoupil k dalšímu kroku, a sice naskládat je jeden za druhým na trasu tubusu. Jelikož Revit neumí vytvořit 3D křivku, použil jsem již zmíněného doplňku Dynamo, který mi trasu vytvořil (obr. 15).



Obr. 14 Prstavec s parametry



Obr. 15 Trasa jižní tunelové trouby vytvořená Dynamem

Tvorba modelu čtyřkilometrového tubusu v jednom kuse by byla nepraktická a náročná na výpočetní techniku. Účelnější je vytvořit kratší části tunelu v místě propojek a zbylé trubusy zvlášť. Dynamo zautomatizovalo proces naskládání prstenců za sebe v daném pořadí. V tuto chvíli bylo trochu štěstí, že je celý tunel v jednotném podélném sklonu 8‰ a mohl jsem všechny prstence uklonit o tuto hodnotu. Akorát v místě propojek se nacházejí dva prstence, které mají otvor

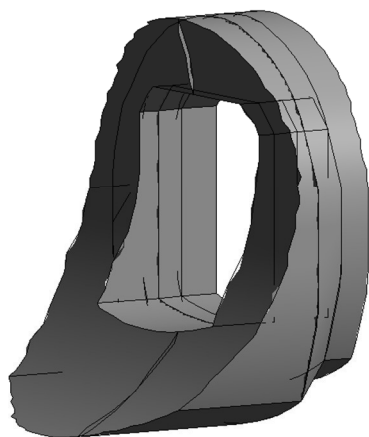


a jsou vyztužené betonářskou výztuží. Takto jsem vytvořil i druhou tunelovou troubu (obr. 16) a mohl jsem přejít k tvorbě propojky.

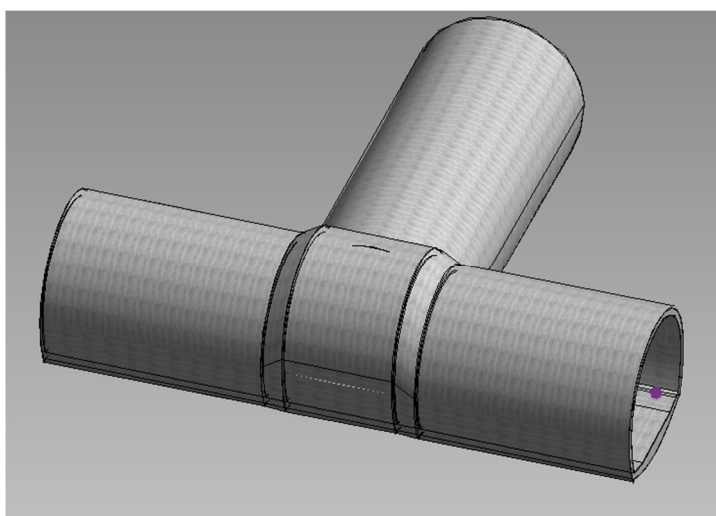


Obr. 16 Oba tunelové tubusy v místě propojky

Propojka byla ražena novou rakouskou tunelovací metodou. Musel jsem tvořit vcelku model propojky a zvláště dva krčky, napojovací části na samotný tunel (obr.17). V tomto bodě nastaly technické problémy, nedařilo se mi v Revitu napojit technologickou komoru k propojce tak, aby byla dutá a připojila se na ostatní části. Zkoušel jsem vymodelovat i komoru samostatně, ale neúspěšně. Na modelu (obr. 18) je vidět zamýšlenou konstrukci, která ovšem není dutá.



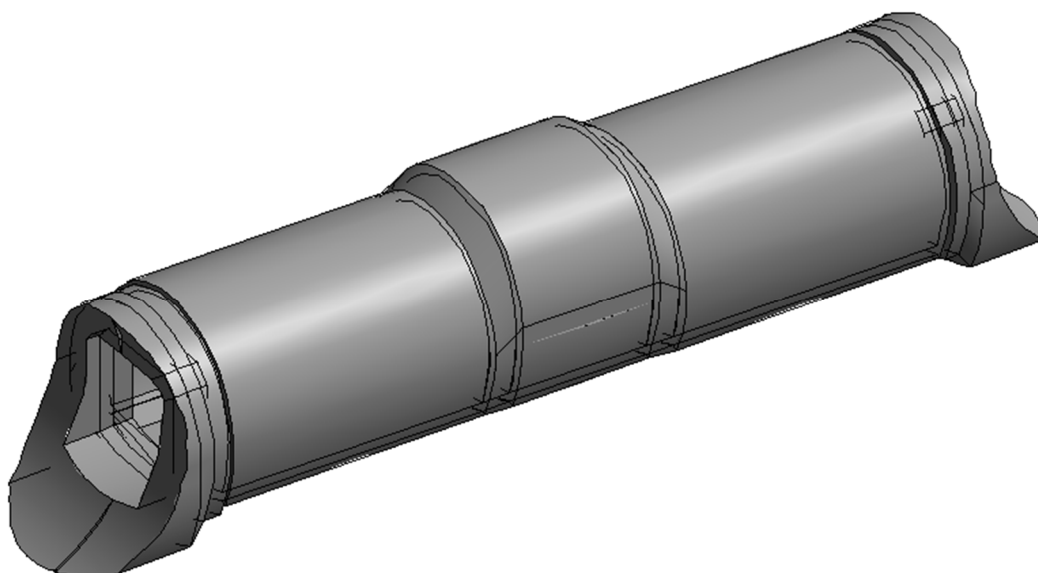
Obr. 17 Rodina krčku



Obr. 18 Zamýšlená konstrukce

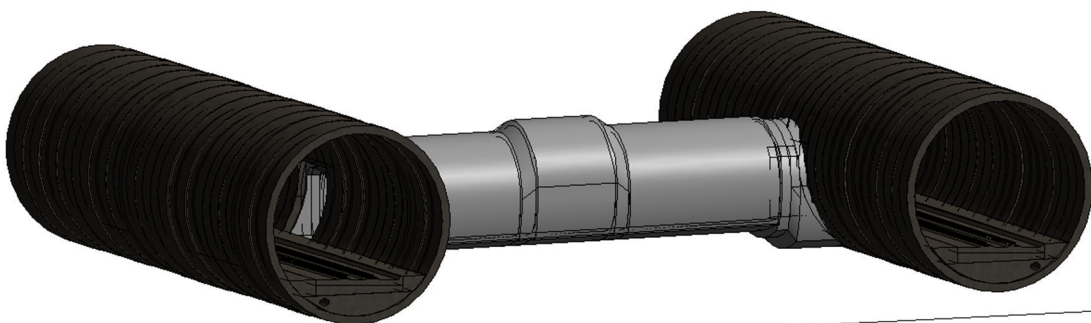


Nastaly i problémy s krčky, kde střídavě docházelo ke kolizi krčku s tunelem, výsledek se sice dostavil, ale není úplně uspokojivý, jsou tam drobné geometrické nuance (obr. 19).



Obr. 19 Rodina propojky bez technologické komory s krčky

V rámci železničního spodku jsem vymodeloval betonové inverty v obou troubách a následně na ně betonový podklad pod pevnou jízdní dráhu. V tento moment jsem si říkal, že je škoda, že neexistuje volně dostupná knihovna prvků od výrobců jednotlivých částí železničního svršku. Usnadnilo by to spoustu práce a výrobcům by zvýšilo konkurenceschopnost. Posledním krokem tvorby bylo do-modelovat chodníky s kabelovody, kolejnice a trakční vedení. Zbývalo už jen sestavit všechny rodiny dohromady (obr. 20).

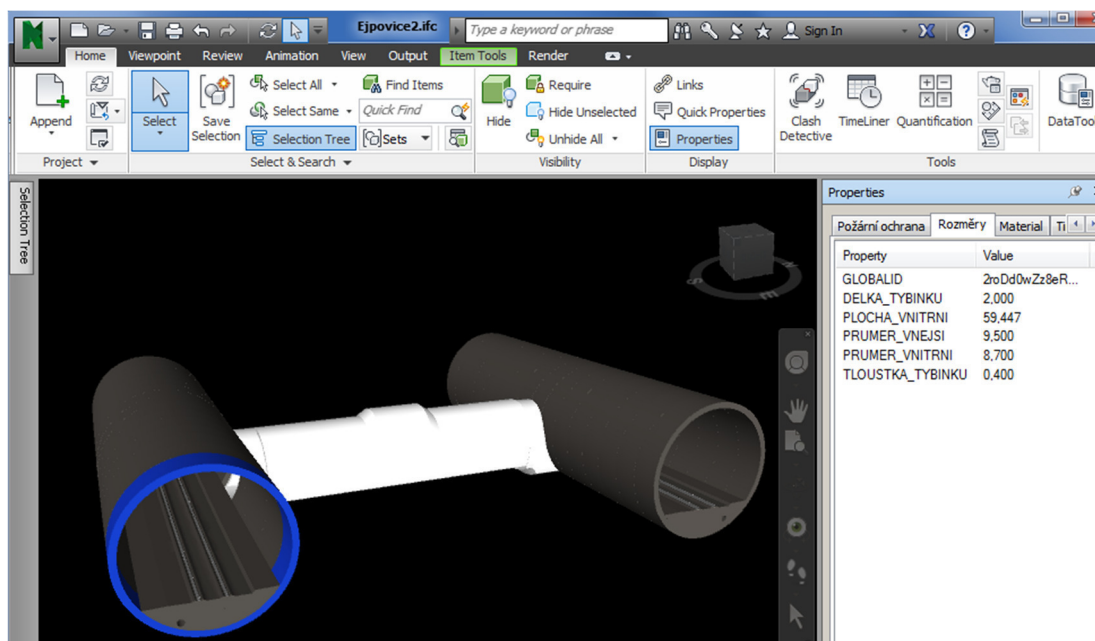


Obr. 20 Kompletní model



4.4 Provoz a údržba

Abych mohl dokončit započatý proces tvorby modelu pro provoz a údržbu, pokusil jsem otevřít model uložený v nativním formátu Revitu v dalším softwarovém produktu Navisworks od Autodesk. Bohužel se mi nezobrazily ani vložené parametry, ani samotný model. Nevěděl jsem si s tím dlouho rady, až pak mě napadlo vyexportovat model přes formát IFC. S tímto formátem si program již dokázal poradit a výsledek ukázal, že se parametry propsaly přes IFC (obr. 21). Potěšil mě fakt, že se parametry neztratily ve výměnném formátu a je tedy více než pravděpodobné, že bude možné je zobrazit i dalších programech. O to mě ale více překvapilo, že se mi nepodařilo dostat model z Revitu do Navisworks v jejich „firmním“ formátu.



Obr. 21 Prstenec v Navisworks s propsanými parametry

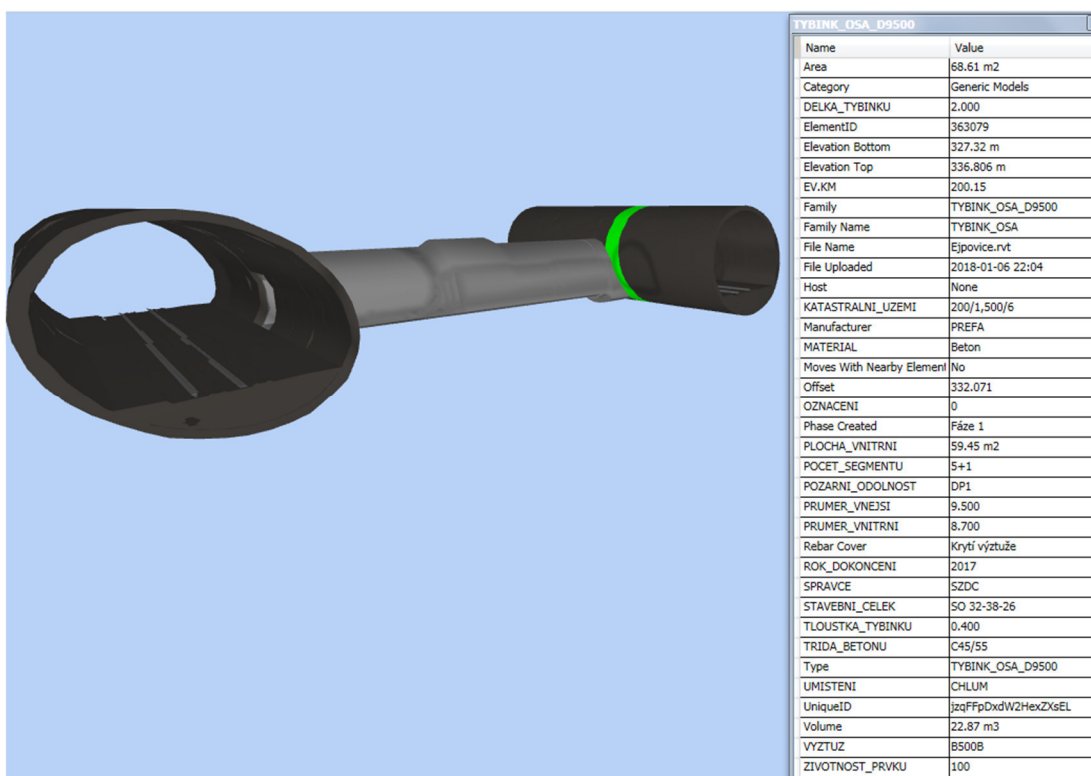
Jak už víme, SŽDC využívá pasportizačního systému pro zaznamenávání stavu tunelu v digitálním formátu. Sice to má k BIM celkem daleko, ale vidím alespoň pozitivum v tom, že informace nejsou psané ručně v nějakých tlustých knihách nebo excelových tabulkách. Otázka je, co přesně by vyhovovalo místním správcům tunelů, kteří informace zaznamenávají. Informační model se zdá vhodným kandidátem. Občas není spíše složitý finální produkt jako celkové prostředí. Je proto použit vhodný nástroj, který bude přehledný, intuitivní a lehce ovladatelný.



Když bychom se pokusili porovnat prostředí z BIM modelu s možností výstupu z tabulkového procesoru, tak by nám vyšlo, že druhá varianta je sice jednodušší na ovládání, ale komplexně by byla nepřehledná a složitá. Nedokážu si představit, že by měl každý prstenec vlastní tabulku s parametry nebo sešit v tabulce. V trojrozměrném prostředí je výsledek strukturovanější.

Je výrazně jednodušší fakt, že železniční tunel se řídí pevně danými jízdními řády, což je výhoda oproti silničním tunelům, kde nemůžeme provoz tak dobře odhadovat. Z tohoto pohledu je snazší naplánovat prohlídku stavu tunelu. Pro takovou prohlídku by s sebou měl správce software vhodný pro správu tunelu. Asi by bylo nepraktické nosit notebook, ale dokážu si představit, že by správce měl u sebe jen tablet s nahraným informačním modelem s Facility management aplikací. Ta by měla zahrnovat uživatelskou dostupnost, spolupráci s BIM, zobrazovat parametry a umožňovat vkládat komentáře. V dnešní době existuje spousta takových aplikací, ale ne všechny vyhovují těmto požadavkům. Některé jsou založené jen na dvourozměrné dokumentaci nepodporující BIM. Mezi těmi vhodnými jsem objevil aplikace, které by podle popisu a propagace přesně vyhovovaly, například jmenuje se Ecodomus, YouBIM nebo Live BIM FM a slouží právě pro správu a údržbu objektů. Samozřejmě jsou placené, takže jsem ji bohužel nemohl vyzkoušet. Určitě takových aplikací existuje ještě více.

Pak existuje ještě spousta dalších BIM mobilních aplikací, které jsou spíše pro výstavbu, modely se dají podložit výkresovou dokumentací a uživatel může připomínkovat různé změny nebo označovat problémová místa v modelu. Mezi takové patří například Field View. Našel jsem i další takovou aplikaci, ve které se mi podařilo nahrát model a propsat parametry přímo přes nativní formát Revitu (obr.22).



Obr. 22 Prstenec s propsanými parametry



5 Vyhodnocení

V první části této diplomové práce byl představen koncept informační modelování neboli BIM jako nástroje pro proces výstavby a byl vysvětlen význam informačního managementu v rámci spolupráce jednotlivých zúčastněných stran stavebního projektu.

Co se týče implementace BIM metodiky jako povinného nástroje v rámci veřejných zakázek, tak by se dalo říct, že Česká republika je lehce v závěsu za ostatními západními a severními státy Evropy, ale určitě se řadí mezi aktivní země bývalého východního bloku. Podíváme-li se na uplatnění informačního modelování v dopravní infrastruktuře, je situace v Evropě o něco srovnatelnější.

Tunely jsou z hlediska dlouhé životnosti výbornou volbou pro implementaci BIM, a tak tomu je i u železničního tunelu Ejovice. Bohužel u této stavby vznikl informační model až dodatečně.

Co se týká modelování, musel jsem si téměř na všechno přijít sám, jak ovládat software a jakých chyb se vyvarovat. Strávil jsem desítky hodin hledání ve slepých uličkách, kde jsem zjistil, že tudy cesta nevede a pak jsem složitě vracel na místa, kde už jsem byl předtím. Když se zpětně podívám na práci, připadá mi, že jsem zbytečně moc času strávil samotným modelováním, místo toho, abych se více zabýval výstupy z modelu a jeho praktickým použitím. Nepovedla se technologická komora, která zabrala hodně času.

Cílem práce bylo vytvořit model propojky tunelu, což se kromě vymodelování technologické komory podařilo. Dále to bylo nasměrovat informační model směrem k případnému Facility managementu. Podařilo se vyexportovat model i najít vhodné kandidáty na aplikaci pro zobrazení výstupů z modelu pro správu a údržbu, jen se je už z časových důvodů nepodařilo prakticky vyzkoušet.

Z uvedeného je vidět, že SŽDC má zkušenosti se zaznamenáváním stavu v digitální podobě a je v užívání technologie na dobré cestě k dalšímu milníku.



6 Závěr

Dost často se říká, že BIM je nástroj budoucnosti. Ta se každým dnem přibližuje a my můžeme poměrně rychle pozorovat jeho vývoj. Jak moc vzdálená je ta budoucnost, kdy bude mít informační modelování doladěny ty největší chyby, se těžko odhaduje. Současné BIM nástroje pro modelování neshledávám úplně nejvhodnějšími pro tvorbu modelů tunelů. Jsou vyvíjeny pro použití pro převážně svislé (pozemní) stavby.

Náš největší sousední vzor, Německo, právě realizuje několik pilotních projektů, které by nám mohly hodně napovědět, jakým směrem a jakou rychlostí by se vývoj u nás mohl odvíjet. Určitě jsem zvědavý, jak se zvládneme poprat s velkou výzvou, jako je povinné použití BIM prostředí pro nadlimitní veřejné zakázky od roku 2022. Uvidíme, kolik bude v té době u nás otevřených projektů tunelů.

Ve srovnání s běžnými pozemními stavebními projekty se tunely střetávají se složitějšími překážkami. Musí se vypořádat s různorodými neznámými (nebo alespoň částečně neznámými) faktory, které ovlivňují stavbu a zahrnují mimo jiné geologické podmínky, větší celkové objemy stavby.

Dopsáním této diplomové práce můj úkol nekončí, budu pokračovat i nadále v dotvoření modelu a jeho zlepšování. Již pro zmiňovanou technologickou komoru, která se nevydařila, je nutno najít způsob, jak ji domodelovat. Je třeba společně se správcem tunelového objektu přidat další parametry a případně doplnit stávající pro komoru a další objekty tak, aby vyhovovaly fázi provozu.

Tento první pilotní projekt zahrnuje jen částečné použití metodiky BIM, jelikož se nejednalo o jejího užití během celého výstavbového procesu. Ale i nějaký začátek je lepší než žádný a na základech výsledků tohoto projektu je potřeba dále stavět. Doufám, že tento způsob bude správcům tunelů, v tomto případě Státní správě železniční cesty, vyhovovat. A tak i věřím, že se jednou spojení informační model tunelu objeví i v předpisech pro správu tunelů a že se stane primárním nástrojem pro provoz a údržbu železničních tunelů. Pro to, aby se to uskutečnilo, je třeba ale vytvořit BIM modely i ostatních tunelů, aby se tento způsob dal



aplikovat celoplošně. Nástroje na to máme, jako například laserové skenování, jestli na to budou lidské síly a především finance, to se teprve ukáže.

Největší úskalí představují samotní lidé, aplikace BIM metodiky není totiž ani tolik o přijímání nových technologií jako o změně způsobu přemýšlení. Může to být možná dáno i tím, že se technologie vyvíjejí rychleji než lidé. Věřím, že nastane okamžik, kdy se lidé nebudou bát přijímat otevřeněji nové věci. A stejně tak s tím snad přijde i den, kdy nebudou vnímat Facility managera jak pouhého údržbáře.



7 Seznam použité literatury

1. DOUBEK, Šimon. *BIM – srovnání podmínek v České republice a Austrálii* [online]. Praha: ČVUT 2016. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta stavební, Katedra technologií staveb. [vid. 5.11.2017]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66126/F1-BP-2016-Doubek-Simon-Bakalarka.pdf?sequence=-1>
2. BORYŚLAWSKI, Mieczysław (Mitch). Proces BIM czyli jak to działa w Ameryce. *Builder*. Vol. 2015, No. 5, pp. 38-41.
3. *Koncepce zavádění metody BIM v České republice* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. [vid. 5.11.2017]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
4. *Cesta za lepším životem ve městě*. SmartCity [online]. [vid. 10.11.2017]. Dostupné z: <http://service.ihned.cz/smartycity>
5. *FAQ*. The Boring Company [online]. [vid. 10.11.2017]. Dostupné z: <https://www.boringcompany.com/faq/>
6. *BIM-Pilotprojekt Tunnel Rastatt startet*. Dobrindt: Sprung zum digitalen Planen und Bauen 4.0 [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2016/073-dobrindt-tunnel-rastatt.html>
7. MAY, Ilka, Malcolm TAYLOR and Daniel IRWIN. *Crossrail: A Case Study in BIM* [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2016/May_Crossrail_BIM_Implementierung_ohne_Risiko.pdf
8. MORIN, Gary, Scott L. DEATON, Roger CHANDLER and Simon MILES. *Silvertown Tunnel, London, England—A Case Study Applying BIM Principles to the Geotechnical Process* [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784480441.061>
9. OSELLO, Anna, Niccolò RAPETTI and Francesco SEMERARO. *BIM Methodology Approach to Infrastructure Design: Case Study of Paniga Tunnel* [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/245/6/062052/pdf>
10. ŽIBERT, Marko. *BIM IN TUNNELLING – Implementation of BIM methodology to Trans Alpine tunnel Karavanke*. BrisBIM Gathering, August 2017 [přednáška]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: http://brisbim.com/wp-content/uploads/2017/08/170822_iC_BIM-BrisBIM-KarTU_MZr.pdf



11. Sweco's 'Live BIM' Railway Project Significantly Improves Efficiency on Hallandsås Project [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: https://www.bentley.com/-/media/files/documents/case-studies/cs_hallandss_ltr-en-lr.pdf
12. E39 Rogfast sub-sea road-tunnel [online]. [vid. 12.11.2017]. Dostupné z: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e39rogfast/In+English>
13. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector [online]. [vid. 20.11.2017]. Dostupné z: http://www.eu-bim.eu/wp-content/uploads/2017/07/EUBIM_Handbook_Web_Optimized-1.pdf
14. Plán pro rozšíření využití digitálních metod a zavedení informačního modelování staveb pro dopravní infrastrukturu [online]. [vid. 20.11.2017]. Dostupné z: http://www.bimfo.cz/getattachment/Aktuality/SFDI-Zavadeni-metod-BIM-pro-dopravni-infrastrukt/sfdi_publikace_bim.pdf.aspx
15. ZEISS, Geoff. Progress of BIM for infrastructure in Europe [online]. [vid. 5.12.2017]. Dostupné z: <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2013/07/widespread-adoption-of-bim-by-national-governments.html>
16. ZEISS, Geoff. Widespread adoption of BIM by national governments [online]. [vid. 5.12.2017]. Dostupné z: <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2016/12/progress-of-government-bim-mandates-in-europe.html>
17. BARTÁK, JIŘÍ. Přehled klasických metod výstavby tunelů [přednáška]. Praha, 9. listopadu 2016. In: ITA-AITES [online]. [vid. 10.12.2017]. Dostupné z: http://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2016/02_bartak_prehled-klasickych-metod-vystavby-tunelu.pdf
18. BARTÁK, JIŘÍ aj. Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, z.s., 2014. ISBN 978-80-260-5957-8
19. ČERNÁ VYDROVÁ, Linda. Lidé Česka – Tunelářka [online]. [vid. 12.12.2017]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/lide-ceska-tunelarka-linda-cerna-vydrova-fdw-/lide-ceska.aspx?c=A170907_075747_lide-ceska_amu
20. Working Group 22: Information Modelling in Tunnelling. International Tunnelling and Underground Space Association [online]. [vid. 12.12.2017]. Dostupné z: <https://about.ita-aites.org/wg-committees/working-groups/276-ita-active-working-groups/working-group-22-new-2017-information-modelling-in-tunnelling>
21. Reduction of operational costs of road tunnels [online]. Technical Committee 5 Road Tunnels. [vid. 15.12.2017]. Dostupné z: <https://www.piarc.org/resources/publications/7/3790,05-06-EN-Complet.pdf>



22. KUDA, František, Eva BERÁNKOVÁ and Petr SOUKUP. *Facility management v kostce pro profesionály i laiky*. Olomouc: Form Solution, 2012. ISBN 978-80-905257-0-2
23. *Big data* [online]. [vid. 18.12.2017]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/big-data.htm>



8 Seznam obrázků

- Obrázek 1 – Společné datové prostředí. Obsah přejatý z: *Koncepce zavádění metody BIM v České republice* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. [vid. 5.11.2017]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- Obrázek 2 – Diagram vývoje BIM. In: *Bew and Richards 2008. Modifikace a překlad: Martin Černý*. Praha: Odborná rada pro BIM, 2013. [vid. 5.11.2017]. ISBN 978-80-260-5297-5
- Obrázek 3 – Navržená síť tunelů pod Las Angeles. In: *The Boring Company* [online]. The Boring Company, 2017. [vid. 10.11.2017]. Dostupné: <https://www.boringcompany.com/media/2017/12/1/los-angeles-tunnel-alignment>
- Obrázek 4 – Přehled výhod použití BIM v dopravní infrastruktuře. In: *Plán pro rozšíření využití digitálních metod a zavedení informačního modelování staveb pro dopravní infrastrukturu* [online]. Státní fond dopravní infrastruktury. [vid. 10.11.2017]. Dostupné z: http://www.bimfo.cz/getattachment/Aktuality/SFDI-Zavadeni-metod-BIM-pro-dopravni-infrastrukt/sfdi_publikace_bim.pdf.aspx
- Obrázek 5 – Použití BIM pro projekt silničního tunelu Karavanke. In: *ITA Tunneling Awards 2017*. [online]. © iC group 2016. [vid. 12.11.2017]. Dostupné: https://ic-group.org/en/magazine/detail/news/ita-tunneling-awards-2017/?no_cache=1
- Obrázek 6 – BIM model vytvořený pomocí laserového skenování. In: *Rail Surveys*. [online]. © Plowman Craven. [vid. 1.12.2017]. Dostupné: <https://www.plowmancraven.co.uk/services/infrastructure/rail-surveys/>
- Obrázek 7 – BIM ve Facility managementu. In: *Úkoly pro investora, který to s BIM myslí vážně*. [přednáška]. Ing. Milan Hampl. © 2009 CAD Outsourcing services. [vid. 15.12.2017].
- Obrázek 8 – Podélný řez propojkou a situace, vlastní autorova práce
- Obrázek 9 – Směrové a výškové vedení osy tunelu, vlastní autorova práce
- Obrázek 10 – Souřadnice převedené do Excelu, vlastní autorova práce
- Obrázek 11 – Sada parametrů pro prstenec, vlastní autorova práce
- Obrázek 12 – Sada parametrů pro železniční spodek, vlastní autorova práce
- Obrázek 13 – Sada parametrů pro železniční svršek a trakční vedení, vlastní autorova práce
- Obrázek 14 – Prstenec s parametry, vlastní autorova práce
- Obrázek 15 – Trasa jižní tunelové trouby vytvořená Dynamem, vlastní autorova práce



Obrázek 16 – Oba tunelové tubusy v místě propojky, vlastní autorova práce

Obrázek 17 – Rodina krčku, vlastní autorova práce

Obrázek 18 – Zamýšlená konstrukce, vlastní autorova práce

Obrázek 19 – Rodina propojky bez technologické komory s krčky, vlastní autorova práce

Obrázek 20 – Kompletní model, vlastní autorova práce

Obrázek 21 – Prstenec v Navisworks s propsanými parametry, vlastní autorova práce

Obrázek 22 – Prstenec s propsanými parametry, vlastní autorova práce



9 Seznam zkratk

ARI – Asociace pro rozvoj infrastruktury

BIM – building information model nebo building information modelling - informační model budovy

BEP – BIM Execution Plan – BIM výkonný plán

CAFM – Computer Aided Facility Management – Facility management software pro řízení podpůrných činností

FM – Facility Management

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

TBM – Tunnel boring machine - mechanizovaný razící (zeminový) štít

TIM – Tunnel Information Modelling - informační modelování tunelů